УДК 004.75

А.В. Шевченко[1], С.Н. Нечаусов[2]

[1]*Национальный университет обороны Украины, Киев*
[2]*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНЗАКЦИЙ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

Предложен метод, позволяющий оптимально распределить поток транзакций в сегментированной корпоративной сети. Метод учитывает характеристики отдельной транзакции, сегментацию КС и распределенность и объемы данных, необходимых для получения ответа на запрос.

***Ключевые слова**: корпоративная сеть, транзакция, данные.*

Введение

Наблюдающееся в последнее время значительное расширение корпоративных сетей (КС), особенно удаленными сегментами, привело к возникновению ряда проблем, одной из которых является распределение транзакций, требующих удаленных данных с различных сетевых сегментов [1]. Анализ исследований в данном направлении [2 – 5] показал, что существующие подходы не учитывают сегментацию КС и распределенность данных, необходимых для получения ответа на запрос, в современных КС.

Поэтому **целью данной статьи** является разработка метода, позволяющего оптимально распределить поток транзакций в сегментированной корпоративной сети.

Результаты исследований

Рассмотрена распределенную КС (РКС), включающую М удаленных сетевых сегментов (УСС), причем каждая i-ая ЛВС состоит из l_i рабочих станций ($i=\overline{1,M}$). В среде РКС в замкнутом режиме предполагается функционирование N статистически однородных транзакций, обслуживаемых согласно стандартной дисциплине FCFS (First Come First Served). Предполагается, что длительность обслуживания транзакции i-го УСС распределена по экспоненциальному закону с параметром, равным интенсивности обслуживания μ_i, т.е.

$$F_i(t)=1-e^{-\mu_i t}. \qquad (1)$$

Пусть $n_i(t)$ - число транзакций, находящихся в очереди на обслуживание и на обслуживании i-й ЛВС в момент времени t. Можно рассмотреть вектор состояния исследуемой сети $\overline{n}=(n_i)_M$, $n_i \le N$, $i=\overline{1,M}$. Обозначим вероятность того, что РКС находится в состоянии $\overline{n}$ в момент времени t как

$$\grave{o}(\overline{n},t)=P\{n_i(t)=n_i\}, \qquad i=\overline{1,M}.$$

Тогда на множестве состояний рассматриваемой РКС

$$S(N,M)=\left\{\bar{n}\left(\sum_{i=1}^{M}n_i=N\right\}\right. \qquad (2)$$

можно ввести многомерный случайный процесс

$$\bar{X}_t=\left(n_i(t)\right)_M,\quad i=\overline{1,M}. \qquad (3)$$

Введем $Q=\{\bar{\alpha}\}_{M+N-1}$ - множество двоичных векторов размерности M + N - 1, у которых N координат принимают единичные значения. Для определения числа состояний РКС (card $\bar{X}_t$) на множестве S(N, M) введем биективное отображение ψ : S(N, M) $\to$ Q таким образом, что любая нулевая координата вектора $\bar{\alpha}\in Q$ является разделителем классов целочисленных координат $\bar{n}$, а единичная – кодом обслуживаемой транзакции (например, ψ ((3, 1, 0, 2) = = (111010011)).

При этом, очевидно, что card $Q=C_{N+M-1}^{M-1}$, а значит, вследствие биективности введенного отображения ψ card $S(N,M)=\text{card } Q=C_{N+M-1}^{M-1}$.

Определим число транзакций, находящихся на обслуживании в i - м УСС в момент времени t, как $\eta_i(n_i(t))$. Так как i - й УСС одновременно может обслуживать не более l_i транзакций, то

$$\eta_i(n_i(t))=\min(l_i,n_i(t)).$$

Учитывая то, что на i-м УСС интенсивность обслуживания равна μ_i, можно рассчитать суммарную плотность потока событий, переводящих систему из фиксированного состояния

$$\bar{n}\in S(N,M)$$

в момент времени t, как

$$\lambda_{\bar{n}}^{(out)}=\sum_{i=1}^{M}\eta_i\left(n_i(t)\right)\cdot\mu_i\ . \qquad (4)$$

Аналогично, плотность потока событий, переводящих систему в фиксированное состояние $\bar{n}$ в момент времени t при завершении обслуживания транзакции на i-м УСС и приеме на обслуживание транзакции на j-м УСС, рассчитывается как

$$\lambda_{\bar{n},i,j}^{(in)}=\eta_j\left(n_j(t)+1\right)\cdot\mu_j\cdot p_{ji}, \qquad (5)$$

где p_{ji} – элемент маршрутной матрицы рассматриваемой РКС.

Так как случайный процесс (3) на множестве состояний (2), исходя из (1), является марковским, то, учитывая (4) и (5), можно составить систему прямых уравнений Чепмена-Колмогорова [1]

$$\begin{gathered}\frac{dP(\bar{n},t)}{dt}=-\lambda_{\bar{n}}^{(out)}\cdot P(\bar{n},t)+\\+\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{M}\lambda_{\bar{n},i,j}^{(in)}\cdot P\left(\bar{n}-\bar{e}_j+\bar{e}_i,t\right),\end{gathered} \qquad (6)$$

где $\bar{e}_i$ – единичный вектор направления i.

Рассмотрим поведение полученной системы уравнений (6) в стационарном предельном режиме, который существует вследствие предположения о замкнутости АВС [2].

Обозначив $P(\bar{n})=\lim_{t\to\infty}P(\bar{n},t)$, получим следующую систему линейных разностных уравнений

$$\lambda_{\bar{n}}^{(out)}P(\bar{n})=\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{M}\lambda_{\bar{n},i,j}^{(in)}\cdot P\left(\bar{n}-\bar{e}_j+\bar{e}_i\right), \qquad (7)$$

которая описывает глобальный баланс рассматриваемой вычислительной сети [3]: скорость переходов из состояния $\bar{n}$ равна скорости переходов в это же состояние.

Для нахождения решения системы (7) введем для каждого i-го УСС рекурсивную функцию $\varphi_i:\left(\overline{0,N}\right)\to N$, вычисляющую число вариантов обслуживания транзакций, требующих данных, которые размещены на УСС с номером j:

$$\varphi_i(0)=1;$$

$$\varphi_i(j)=\eta_i(j)\cdot\varphi_i(j-1),\quad j\in\overline{1,N}.$$

Введем в (7) новую векторную переменную $R(\bar{n})$ таким образом, что

$$\grave{o}(\bar{n})=\prod_{k=1}^{M}\varphi_k^{-1}(n_k)\cdot R(\bar{n}). \qquad (8)$$

Тогда

$$\lambda_{\bar{n}}^{(out)}\cdot\frac{R(\bar{n})}{\prod_{k=1}^{M}\varphi_k(n_k)}=$$

$$=\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{M}\lambda_{\bar{n},i,j}^{(in)}\cdot\frac{R\left(\bar{n}-\bar{e}_i+\bar{e}_j\right)\cdot\varphi_j(n_i+1)}{\left(\prod_{\substack{k=1\\(k\neq i,j)}}^{M}\varphi_k(n_k)\right)\cdot\varphi_i(n_i-1)}.$$

После последовательной подстановки в полученное уравнение выражений (4) и (5) и несложных преобразований получаем

$$\begin{gathered}\sum_{i=1}^{M}\eta_i(n_i)\cdot\mu_i\cdot R(\bar{n})=\\=\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{M}\eta_i(n_i)\cdot\mu_j P_{ji}R\left(\bar{n}-\bar{e}_i+\bar{e}_j\right).\end{gathered} \qquad (9)$$

Для векторной переменной $R(\bar{n})$ возможно представление в виде произведения константы и M неизвестных параметров Z_i [4]. Поэтому

$$R(\bar{n})=r_M(N)\cdot\prod_{i=1}^{M}Z_i, \qquad (10)$$

где $r_M(N)$ - константа, определенная для заданного числа транзакций на известной архитектуре ЛВС.

Подставив (10) в (9) и произведя соответствующие сокращения, получим

$$\sum_{i=1}^{M}\eta_i\left(n_i\right)\left(\mu_i-\sum_{j=1}^{M}\mu_j P_{ji}\cdot\frac{Z_j}{Z_i}\right)=0\,. \qquad (11)$$

Для подмножества $S^N(N, M)$ множества состояний (2)

$$S(N,M)\subset S^N(N,M)=\left\{\bar{n}\left(n_k=N,\ n_i=0,\ i\neq k\right\}\right.$$

выражение (11) эквивалентно

$$\mu_i Z_i=\sum_{j=1}^{M}\mu_j Z_j P_{ji}\,, \qquad (12)$$

так как в данном частном граничном случае вся обработка транзакций сосредоточена только в одном конкретном узле.

Ввод в (12) коэффициентов передачи $\omega_k = \mu_k Z_k$ приводит к следующей системе уравнений

$$\omega_i=\sum_{j=1}^{M}\omega_j P_{ij},\quad i=\overline{1,M}\,,$$

из которой определяются коэффициенты передачи и, соответственно, неизвестные параметры Z_i разложения (10). Это позволяет, исходя из (8), определить стационарное распределение вероятностей для случайного процесса (5) при $t\to\infty$

$$P(\bar{n})=\frac{R(\bar{n})}{\prod\limits_{k=1}^{M}\varphi_k\left(n_k\right)}=r_M(N)\cdot\prod_{k=1}^{M}\frac{Z_k^{n_k}}{\varphi_k\left(n_k\right)}\,.$$

Из условия замкнутости и стационарности рассматриваемого процесса (3) следует, что

$$\sum_{\bar{n}\in S(N,M)}P(\bar{n})=1\,,$$

где $\bar{n}$ пробегает все возможные C_{N+M-1}^{M-1} значений на множестве состояний (2). Это позволяет определить константу $r_M(N)$:

$$\sum_{\bar{n}\in S(N,M)}r_M(N)\cdot\prod_{k=1}^{M}\frac{Z_k^{nk}}{\varphi_k\left(n_k\right)}=1;$$

$$r_M(N)=\left(\sum_{\bar{n}\in S(N,M)}\prod_{k=1}^{M}\frac{Z_k^{nk}}{\varphi_k\left(n_k\right)}\right)^{-1}.$$

Тогда окончательно распределение вероятностей по C_{N-1}^{M+N-1} состояниям рассматриваемого процесса определяется как

$$P(\bar{n})=\frac{\prod\limits_{k=1}^{M}Z_k^{n_k}\varphi_k^{-1}\left(n_k\right)}{\sum\limits_{\bar{n}\in S(N,M)}\prod\limits_{k=1}^{M}Z_k^{n_k}\varphi_k^{-1}\left(n_k\right)},\quad Z_k=\frac{\omega_k}{\mu_k}\,. \qquad (13)$$

Для определения вероятности того, что в стационарном режиме i-й УСС должен будет обработать не менее чем N_i транзакций, воспользуемся выведенным выражением (13), т.е.

$$P\left(n_i\geq N_i\right)=$$

$$=\frac{1}{r_M(N)}\cdot\sum_{\substack{\bar{n}\in S(N,M)\\ n_i\geq N_i}}\prod_{k=1}^{M}\frac{Z_k^{n_k}}{\varphi_k\left(n_k\right)}=\frac{Z_i^{N_k}}{\varphi_i\left(n_i\right)r_M(N)}\times$$

$$\times\sum_{\bar{n}\in S(N-N_i,M)}\prod_{k=1}^{M}\frac{Z_k^{n_k}}{\varphi_k\left(n_k\right)}=\frac{Z_i^{N_i}r_M\left(N-N_i\right)}{\varphi_i\left(n_i\right)\cdot r_M(N)}\,.$$

Тогда маргинальное распределение числа транзакций, находящихся на обработке в i-м УСС, определяется вероятностью

$$P_i\left(N_i\right)=P\left(n_i\geq N_i\right)-P\left(n_i\geq N_i+1\right)=\frac{Z_i^{N_i}}{r_M(N)\cdot\varphi_i\left(n_i\right)}\times$$

$$\times\left(r_M\left(N-N_i\right)-\frac{Z_i}{\eta_{i+1}\left(\eta_{i+1}\right)}\cdot r_M\left(N-N_{i-1}\right)\right).$$

Следует учесть, что выражение для маргинального распределения транзакций выведено при наличии ряда существенных ограничений как на архитектуру РКС, так и на процесс функционирования в ее среде транзакций (замкнутость, однородность, бесприоритетная дисциплина обслуживания, а также длительность обслуживания транзакции в среде ЛВС, к которой был сделан запрос, распределена по экспоненциальному закону). Однако, именно в данном случае, вероятности стационарного распределения имеют мультипликативную форму [4], что позволяет использовать полученные результаты при анализе распределения транзакций в вычислительных сетях с менее жесткими ограничениями.

Вывод

Предложен метод, позволяющий оптимально распределить поток транзакций в сегментированной корпоративной сети. Метод учитывает характеристики отдельной транзакции, сегментацию КС и распределенность и объемы данных, необходимых для получения ответа на запрос. **Направление дальнейших исследований** – алгоритмизация предложенного метода оптимизации и привязка к техническим средствам КС.

Список литературы

1. *Дайял. У. Мониторы транзакций третьего поколения / У. Дайял. – М.: Техносфера, 2009. – 380 с*
2. *Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. - М.: Машиностроение, 1979. - 432 с.*
3. *Янбых Г.Ф., Столяров Б.А. Оптимизация информационно - вычислительных сетей. – М.: Радио и связь, 1987. –232 с.*
4. *Chandy K.M., Martin I. Characterization of product form Queueing Networks // I. ACM. – 1983. –Vol. 30, № 2. – P. 286-299.*
5. *Кульгин М. Технология корпоративных сетей. Энциклопедия / М. Кульгин. – СПб.:Питер, 2001. – 704 с.*

Поступила в редколлегию 27.11.2010

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, с.н.с.. А.А. Можаев, Национальный технический университет “ХПИ”, Харьков.

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТРАНЗАКЦІЙ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ

О.В. Шевченко, С.М. Нечаусов

Запропонований метод, що дозволяє оптимально розподілити потік транзакцій в сегментованій корпоративній мережі. Метод враховує характеристики окремої транзакції, сегментацію мережі, розподіленість і об'єми даних, необхідних для отримання відповіді на запит.

Ключові слова: *корпоративна мережа, транзакція, дані.*

METHOD OF THE OPTIMUM DISTRIBUTING OF TRANSACTIONS OF CORPORATE NETWORK

A.B. Shevchenko, S.N. Nechausov

A method, allowing it is optimum to distribute the stream of transactions in the segmented corporate network, is offered. A method takes into account descriptions of separate transaction, segmentation of corporate network, state of distribution and volumes of information, necessary for the receipt of answer for a query.

Keywords: *corporate network, transaction, information.*